

Docket No.: A8319.0030/P030
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Kenji Miyata

Application No.: Not Yet Assigned

Filed: Concurrently Herewith

Art Unit: N/A

For: MAGNETIC FIELD ANALYSIS METHOD
AND PROGRAMS FOR ROTATING
MACHINES

Examiner: Not Yet Assigned

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

MS Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following
prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Japan	2003-110968	April 16, 2003

Application No.: Not Yet Assigned

Docket No.: A8319.0030/P030

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

Dated: January 22, 2004

Respectfully submitted,

By 

Mark J. Thronson

Registration No.: 33,082

DICKSTEIN SHAPIRO MORIN &
OSHINSKY LLP

2101 L Street NW

Washington, DC 20037-1526

(202) 785-9700

Attorney for Applicant

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

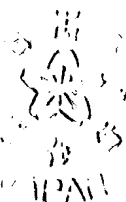
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 4月16日
Date of Application:

出願番号 特願2003-110968
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2003-110968]

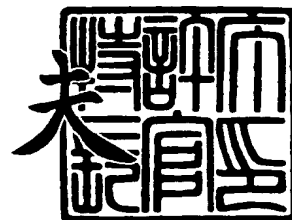
出願人 株式会社日立製作所
Applicant(s):



2003年11月11日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



出証番号 出証特2003-3092838

【書類名】 特許願

【整理番号】 1102021331

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01R 11/073

【発明の名称】 回転機の磁界解析方法及びプログラム

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号
株式会社 日立製作所 日立研究所内

【氏名】 宮田 健治

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【電話番号】 03-3212-1111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 回転機の磁界解析方法及びプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転機の磁界解析方法において、

固定子空間で求めた磁界分布の値と、回転子空間で求めた前記磁界分布の値を初期値として受け付ける第 1 の処理と、

前記初期値から解析空間全体にわたる磁界分布を求める第 2 の処理とを有することを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 2】

請求項 1 において、

第 2 の処理は、所定の時刻で求めた回転子と固定子の間のスライド面上における磁界分布から、定数成分と回転基本モード成分を抽出する処理と、

解析空間全体を、固定子空間と回転子空間に分離する処理と、

時間刻み幅に相当する回転磁界の回転角度分、前記回転基本モードを回転させ、前記定数成分を加えたものを前記スライド面上の境界条件にして、前記固定子空間の磁界解析を実行する処理と、

前記時間刻み幅に相当する前記回転磁界の回転角度から、前記時間刻み幅に相当する前記回転子の回転角度を差し引いた角度分、前記回転基本モードを回転させたものに前記定数成分を加えたものを前記スライド面上の境界条件にして、前記回転子空間の磁界解析を実行する処理とを有するものであることを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 3】

請求項 1 において、

磁界分布は、物理量で表現されることを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 4】

請求項 1 において、

前記第 1 の処理と前記第 2 の処理とを反復処理して磁界分布を求める処理と、

前記反復処理ごとの残差を求める処理と、

前記残差を画面に表示する処理とを有する磁界解析方法。

【請求項 5】

請求項 1 において、

前記磁界分布を画面に表示する処理を有する磁界解析方法。

【請求項 6】

請求項 2 において、

前記所定の時刻で求めた前記回転子と前記固定子の間の前記スライド面上における前記磁界分布から、高調波成分を抽出する処理を有し、前記固定子空間の磁界解析を実行する処理及び前記回転子空間の磁界解析を実行する処理において、前記回転基本モード成分に前記高調波成分を加えたことを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 7】

コンピュータに請求項 1 記載の処理を実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項 8】

請求項 7 記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 9】

回転機の磁界解析方法において、

所定の時刻で求めた回転子と固定子の間のスライド面上における磁界分布から、定数成分と回転基本モード成分を抽出する処理と、

解析空間全体を、固定子空間と回転子空間に分離する処理と、

時間刻み幅に相当する回転磁界の回転角度分、前記回転基本モードを回転させ、前記定数成分を加えたものを前記スライド面上の境界条件にして、前記固定子空間の磁界解析を実行する処理と、

前記固定子空間で求めた磁界分布と、前記所定の時刻で既に求めてある回転子空間における磁界分布を初期値として、解析空間全体にわたる磁界解析を実行し、前記所定の時刻から前記時間刻み幅分経過した時刻での前記磁界分布を求める処理とを有することを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 10】

請求項 9 において、

前記所定の時刻で求めた前記回転子と固定子の間のスライド面上における前記磁界分布から、高調波成分を抽出する処理を有し、前記固定子空間の磁界解析を実行する処理において、前記回転基本モード成分に高調波成分を加えたことを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 11】

回転機の磁界解析方法において、

所定の時刻で求めた回転子と固定子の間のスライド面上における磁界分布から、定数成分と回転基本モード成分を抽出する処理と、

解析空間全体を、固定子空間と回転子空間に分離する処理と、

時間刻み幅に相当する回転磁界の回転角度分よりも小さい回転角度分、回転基本モードを回転させたものに前記定数成分を加えたものを前記スライド面上の境界条件に設定して、固定子空間の磁界解析を実行する処理と、

前記時間刻み幅に相当する前記回転磁界の回転角度から回転子の回転角度を差し引いた角度分よりも小さい回転角度分、回転基本モードを回転させたものに定数成分を加えたものをスライド面上の境界条件に設定して、回転子空間の磁界解析を実行する処理と、

前記固定子空間で求めた前記磁界分布と、前記回転子空間で求めた前記磁界分布から、前記所定の時刻から前記時間刻み幅経過した時刻における前記固定子空間の前記磁界分布と前記回転子空間の前記磁界分布を求める処理と、

前記時間刻み幅経過した時刻における前記固定子空間と前記回転子空間の前記磁界分布を初期値として、解析空間全体にわたる磁界解析を実行し、前記所定の時刻から前記時間刻み幅分経過した時刻での前記磁界分布を求める処理とを有することを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【請求項 12】

請求項 11 において、

前記所定の時刻で求めた前記回転子と前記固定子の間の前記スライド面上における前記磁界分布から、高調波成分を抽出する処理を有し、前記固定子空間の磁界解析を実行する処理において、前記回転基本モード成分に前記高調波成分を加

えたことを特徴とする回転機の磁界解析方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、回転機の磁界解析の方法に係るものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、例えば、文献T.W.Preston, A.B.J.Reece and P.S.Sangha: "Induction motor analysis by time-stepping techniques", IEEE Trans. on Magnetism, vol.24, No.1, pp.471-474, 1988に示されているように、回転機の磁界解析の方法において、回転子を小刻みに回転させながら、逐次解析する時間ステップ法が採用されている。

【0 0 0 3】

【非特許文献1】

T.W.Preston, A.B.J.Reece and P.S.Sangha: "Induction motor analysis by time-stepping techniques", IEEE Trans. on Magnetism, vol.24, No.1, pp.471-474, 1988

【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】

回転機の磁界解析では、回転子を小刻みに回転させて、有限要素法等の数値解析手法を用いて、通常、反復解法を用いてポテンシャルを未知変数とした行列方程式を解いている。回転機では磁気飽和現象が起こるため、透磁率が磁束密度の関数となって変化することになり、非線形解析特有の反復計算も必要になる。前記従来技術の回転機の磁界解析法では、回転子が小刻みに回転するたびに、前時間ステップで求めた解を未知変数の初期値として、反復解法により解を求めている。しかし、この方法で解を求める場合、回転の角度幅をある程度小さく抑える必要がある。ある程度の回転角度幅を超えると、この方法は効力を発揮しないため、通常、初期値を零にして計算するが、解を求めるのに必要な反復回数が多くなり、多大な計算時間を要するという課題があった。

【0005】

本発明の目的は、計算時間を短縮できる回転機の磁界解析方法及びプログラムを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明の一つの特徴は、回転機の磁界解析方法において、固定子空間で求めた磁界分布の値と、回転子空間で求めた前記磁界分布の値を初期値として、解析空間全体にわたる前記磁界分布を求めることである。

【0007】

なお、本発明のその他の特徴は本特許請求の範囲に記載のとおりである。

【0008】

【発明の実施の形態】

以下、図面を用いて本発明に関する回転機の磁界解析法の実施形態を説明する。

【0009】

図1は、本発明の第1の実施形態である磁界解析法の流れを例示する。磁界分布は、通常、ポテンシャルを用いて解析されるので、ここでもポテンシャルを用いて説明する。

【0010】

第1ステップ11として、時間刻み幅を Δt として、所定の時刻の一例である第 n 番目の時刻 $t = n \Delta t$ において求めたポテンシャル分布より、回転子と固定子の間のスライド面上におけるポテンシャル解を回転方向にモード分離して、定数成分および回転基本モード成分を抽出する。

【0011】

図2に、スライド面上におけるポテンシャル分布の例を、また、図3にそれをモード分離したときのグラフを例示する。図3に示すように、スライド面上におけるポテンシャル解は、定数成分、回転基本モード成分、および多数の高調波成分に分解できる。図3が示すように、定数成分並びに回転基本モード成分は、回転磁界を記述するポテンシャル成分の主要部をなす。

【0012】

第2ステップ12では、解析空間を、回転子を含む回転子空間と固定子を含む固定子空間に分離する。

【0013】

第3ステップは、第3.1 ステップ13と第3.2 ステップ14の2個に分類され、どちらを先に実行しても良い。第3.1 ステップ13では、時間ステップ幅に相当する回転磁界の回転角度分、スライド面上の基本モードを回転させ、それに定数成分を加えたものをスライド面における境界条件として、固定子空間において、磁気飽和を考慮した非線形磁界解析を実行する。この場合、透磁率分布の初期値として前の時刻 $t = n \Delta t$ で求めたものを用いる。

【0014】

第3.2 ステップ14では、時間ステップ幅に相当する回転磁界の回転角度分から、回転子の回転角度分を引いた角度分、スライド面上の回転基本モードを回転させ、それに定数成分を加えたものをスライド面における境界条件として、回転子空間において、磁気飽和を考慮した磁界解析を実行する。この場合も、透磁率分布は前の時刻 $t = n \Delta t$ で求めたものを用いる。同期機では、回転磁界の回転速度と回転子の回転速度は一致するため、スライド面における境界場は高調波成分の影響で微妙に変化するのみであり、この第3.2 ステップ14の処理は省いても構わない。

【0015】

これら第3.1 ステップ13と第3.2 ステップ14では、未知変数の初期値は、前の時刻 $t = n \Delta t$ における解を用いても良いし、あるいは零等の別の初期値を設定してもよい。ここで、未知の変数の一例として、 $B = \text{rot } A$ として定義される磁気ベクトルポテンシャル A がある。また、数値解析上では、有限要素法において、メッシュの辺上への A の射影積分値 a_j が未知数になります。 $A = \sum a_j N_j$ (N_j : ベクトル基底関数) で表現できる。

【0016】

第4ステップ15として、第3.1 ステップ13及び第3.2 ステップ14で求めたポテンシャル解を初期値として、改めて全体空間で磁気飽和を考慮した磁

界解析を実行する。

【0017】

磁気飽和を考慮した非線形磁界解析では、ポテンシャルの初期値が解に近いほど、反復解法における反復回数は少なくて済み、計算時間は短くて済む。特に同期機では、第3.2 ステップ14は省略できるため、解に近い初期値を求める操作が、第3.1 ステップ13の固定子空間の解析のみで済むため、より小規模な体系での計算で、ほどよい初期値を求めることができる。

【0018】

図4は本発明の第2の実施形態である磁界解析法の流れを例示する。ここでもポテンシャルを用いて説明する。

【0019】

第1ステップ11として、時間刻み幅を Δt として、第 n 番目の時刻 $t = n \Delta t$ において求めたポテンシャル分布より、回転子と固定子の間のスライド面上におけるポテンシャルから、定数成分および回転基本モード成分を抽出する。

【0020】

第2ステップ12では、解析空間を、回転子を含む回転子空間と固定子を含む固定子空間に分離する。

【0021】

第3ステップは、第3.1 ステップ13と第3.2 ステップ14の2個に分類され、どちらを先に実行しても良い。第3.1 ステップ13では、時間ステップ幅に相当する回転磁界の回転角度よりも $1/2$ あるいは $1/3$ といったより小さな角度分、スライド面上の回転基本モードを回転させ、それをスライド面における境界条件として、固定子空間において、磁気飽和を考慮した非線形磁界解析を実行する。この場合、透磁率分布の初期値として前の時刻 $t = n \Delta t$ で求めたものを用いる。

【0022】

第3.2 ステップ14では、時間ステップ幅に相当する回転磁界の回転角度分から、回転子の回転角度分を引いた角度よりも $1/2$ あるいは $1/3$ といったより小さな角度分、スライド面上の基本モードを回転させ、それをスライド面に

ける境界条件として、回転子空間において、磁気飽和を考慮した磁界解析を実行する。この場合も、透磁率分布は前の時刻 $t = n \Delta t$ で求めたものを用いる。同期機では、ここでも、前述の理由から、この第 3.2 ステップ 14 の処理は省いても構わない。

【0023】

これら第 3.1 ステップ 13 と第 3.2 ステップ 14 では、未知変数の初期値は、前の時刻 $t = n \Delta t$ における解を用いても良いし、あるいは零等の別の初期値を設定してもよい。解を速く求めるためには、前の時刻 $t = n \Delta t$ における解を用いる方が望ましい。

【0024】

第 4 ステップとして、第 3.1 ステップ 13 及び第 3.2 ステップ 14 で求めたポテンシャル解の変化および透磁率分布の変化から、時刻 $t = (n + 1) \Delta t$ でのポテンシャル解並びに透磁率分布を線形外挿により予測することができる。この解を初期値として、改めて全体空間で磁気飽和を考慮した磁界解析を実行する。

【0025】

この第 2 の実施例では、基本モードの回転角が第 1 の実施例に比べて小さいため、時刻 $t = n \Delta t$ からの解および透磁率分布の変化量が小さい。このため、第 3.1 ステップ 13 と第 3.2 ステップ 14 に要する計算時間は相対的に短く、第 1 の実施例に比べて、より高速に時刻 $t = (n + 1) \Delta t$ における近似解並びに近似的な透磁率分布を得ることができる。

【0026】

この例では、回転子空間および固定子空間における 1 回の解析からの線形外挿によって、時刻 $t = (n + 1) \Delta t$ における近似値を求めたが、この他にも、基本モードを、時間ステップ幅 Δt に相当する回転角度幅よりも小さい 2 つの異なる回転角度分回転させたときの回転子空間および固定子空間における 2 ケースの解析から、2 次関数的に外挿して、時刻 $t = (n + 1) \Delta t$ における近似値を求めてもよい。この場合、計算が 2 倍に増えるが、近似値はより真の解に近づくので、時刻 $t = (n + 1) \Delta t$ における全体解析に移ったときは、より短い計算時間で解

を得ることができる。

【0027】

なお、一般に磁界解析は、大規模疎行列方程式を ICCG 法（不完全コレスキー分解つき共役勾配法）等の反復解法で収束解を求めるのが通常であり、本発明においても、反復解法を用いて解を求める。ここに示したいずれの実施例でも、計算の収束状況は、図 8 に示すように、計算機 80 で計算して、その収束状況を計算機 30 に接続した表示装置 81 に表示して見ることができる。図 8 には、例として、図 1 や図 4 に示した固定子空間の磁界解析解を反復解法で求めるときの残差が次第に小さくなる状況を示している。ここで、残差とは、 $Ax = b$ なる行列方程式において、例えば、 $\text{残差} = |Ax - b| / |b|$ で定義される。

【0028】

また、ここでは、ポテンシャルの定数成分と回転基本モード成分のみを採り上げた例を示したが、さらに高調波成分を用いて同様に実施できる。この場合、近似解はさらに高精度化され、全体解析に移ったときは、より短い計算時間で解を得ることができる。

【0029】

以上説明した回転機の磁界解析法によれば、回転子空間および固定子空間に分けて解析するため、高速に近似的な解を求めることができ、より真の解に近いところから全体解析を実行するため、従来の方法よりも高速に解を求めることができるという効果がある。解析体系が大規模になればなるほど、この効果は大きい。

【0030】

以上により、様々な実施の形態について説明したが、これを実現する装置は、専用の装置として構成することも可能であるが、図 5 に例示するように、キーボード 51 と、前述したようなデータや処理プログラムを入力する入力手段、入力されたデータやプログラムをデータベースとして蓄積する記憶部、演算部などを備えたコンピュータ本体 52 と、ディスプレイ 53 で構成される汎用のコンピュータシステムとその上で稼働する処理プログラムによって実現することが可能である。

【0031】

このような汎用のコンピュータシステムに処理プログラムを付加して実現するときには、処理プログラムは図6に例示するような磁気ディスク61や図7に例示するようなCD-ROM71などのメディアに記録して配送、保管、実装され、コンピュータ本体52に設けた磁気ディスク読み取り装置やCD-ROM読み取り装置によって読み取って該コンピュータ本体52内に取り込まれる。通信ネットワークを通じて配送される処理プログラムを入力手段によって取り込んで実現する場合には、取り込んだ処理プログラムを磁気ディスク等のメディアに記憶させて保存することにより、繰り返し使用できるようにする。

【0032】**【発明の効果】**

本発明によれば、計算時間を短縮できる回転機の磁界解析方法及びプログラムを提供できる。

【図面の簡単な説明】**【図1】**

本発明の第1の実施形態である回転機の磁界解析法の流れを示す図の一例。

【図2】

スライド面上におけるポテンシャル分布の一例を示す図の一例。

【図3】

スライド面上におけるポテンシャル分布をモード分離して成分ごとに示した図の一例。

【図4】

本発明の第2の実施形態である回転機の磁界解析法の流れを示す図の一例。

【図5】

コンピュータシステムの一例。

【図6】

磁気ディスクの一例。

【図7】

CD-ROMの一例。

【図 8】

本発明における磁界解析の収束状況を表示する代表例を示す図。

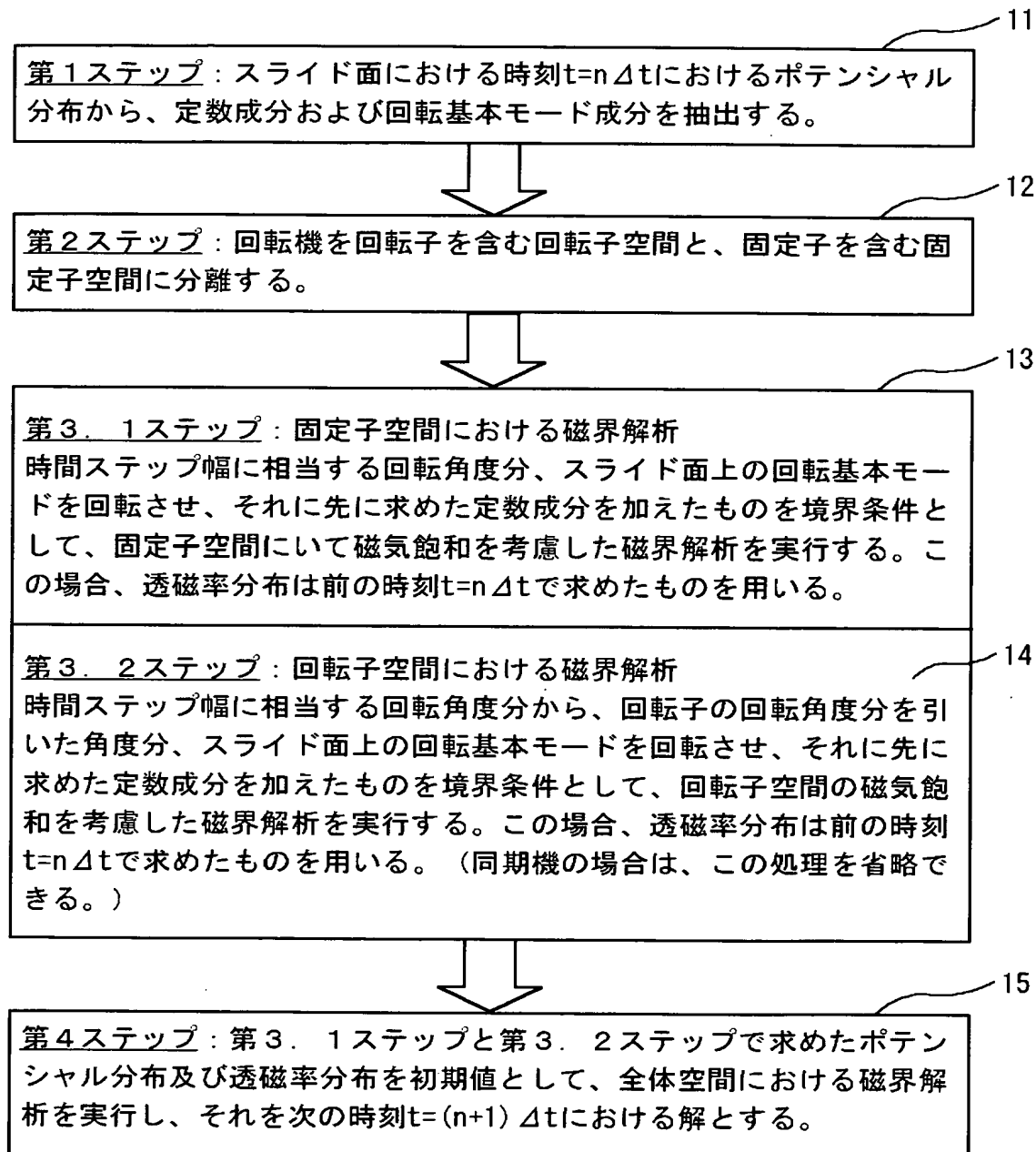
【符号の説明】

1 1…第 1 の実施形態におけるステップ 1、1 2…第 1 の実施形態におけるステップ 2、1 3…第 1 の実施形態におけるステップ 3.1、1 4…第 1 の実施形態におけるステップ 3.2、1 5…第 1 の実施形態におけるステップ 4、2 1…第 2 の実施形態におけるステップ 1、2 2…第 2 の実施形態におけるステップ 2、2 3…第 2 の実施形態におけるステップ 3.1、2 4…第 2 の実施形態におけるステップ 3.2、2 5…第 2 の実施形態におけるステップ 4、5 1…キーボード、5 2…コンピュータ本体、5 3…ディスプレイ、6 1…磁気ディスク、7 1…CD-ROM、8 0…計算機、8 1…表示装置。

【書類名】 図面

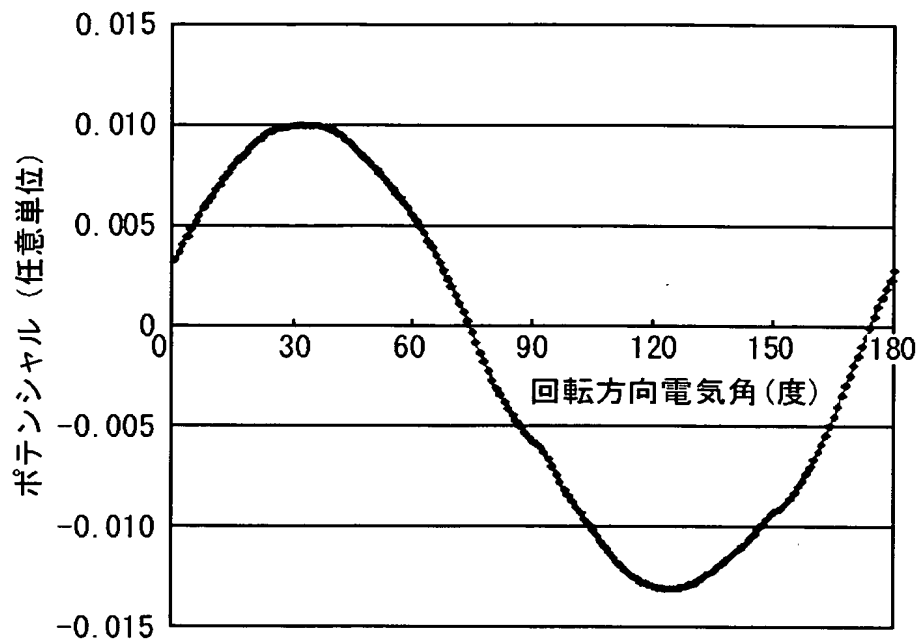
【図 1】

図 1



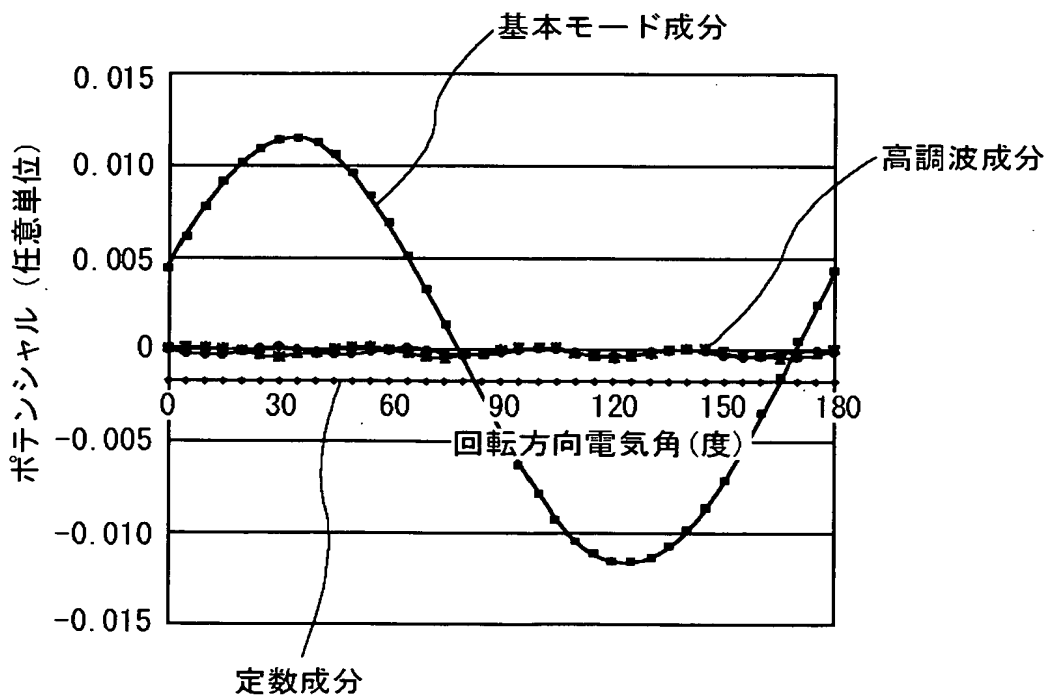
【図 2】

図 2



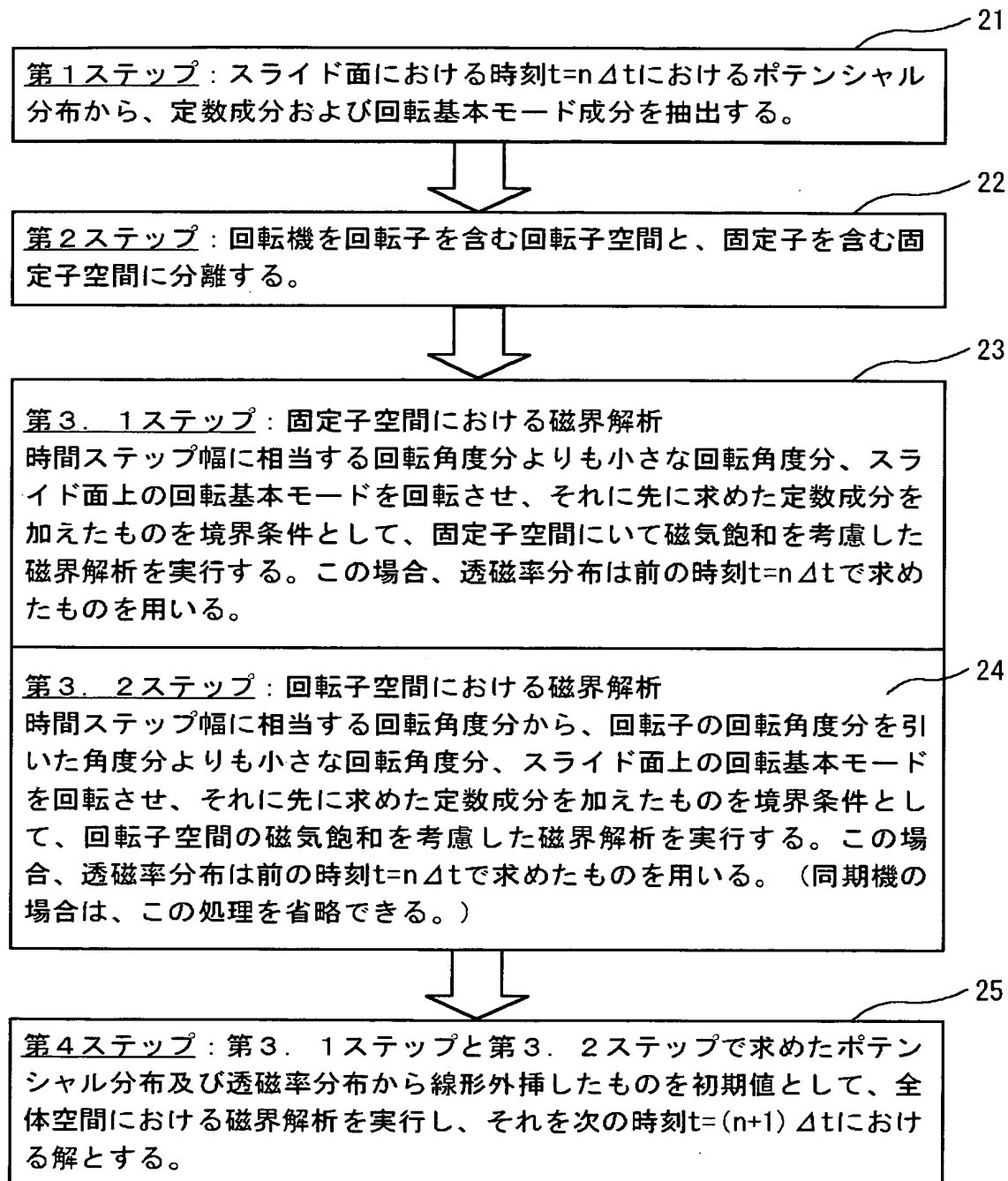
【図 3】

図 3



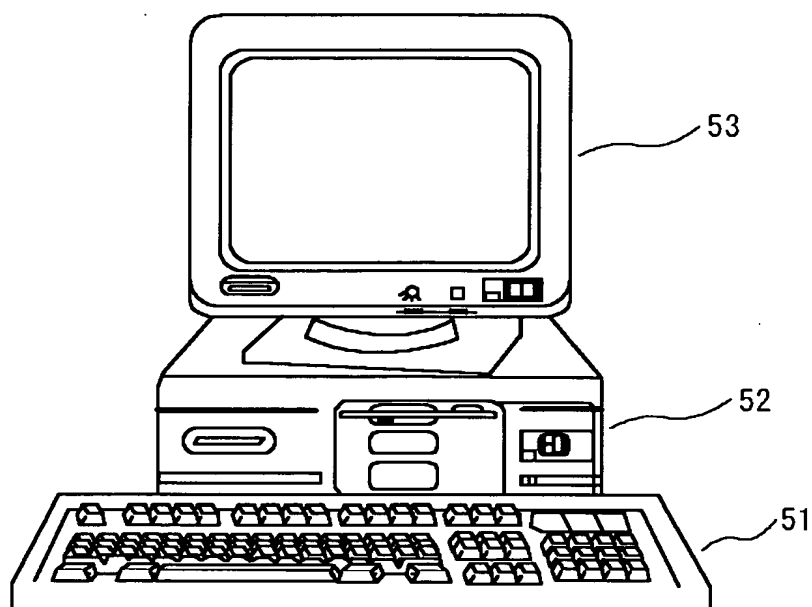
【図 4】

図 4



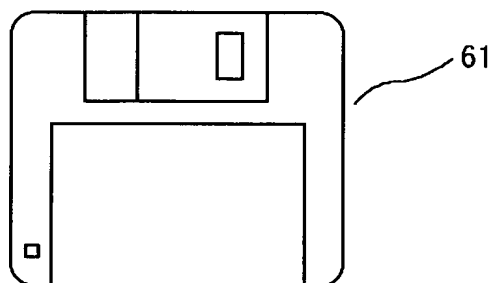
【図 5】

図 5



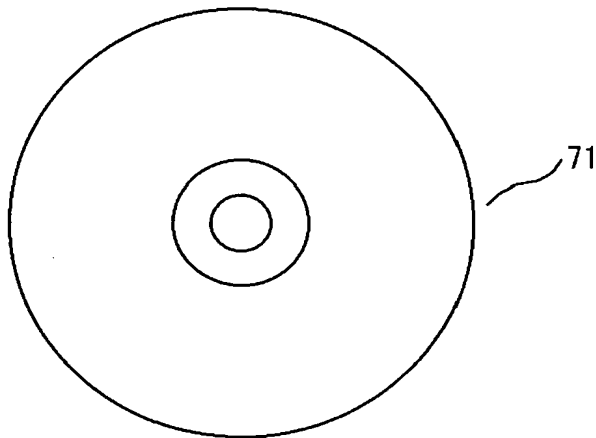
【図 6】

図 6



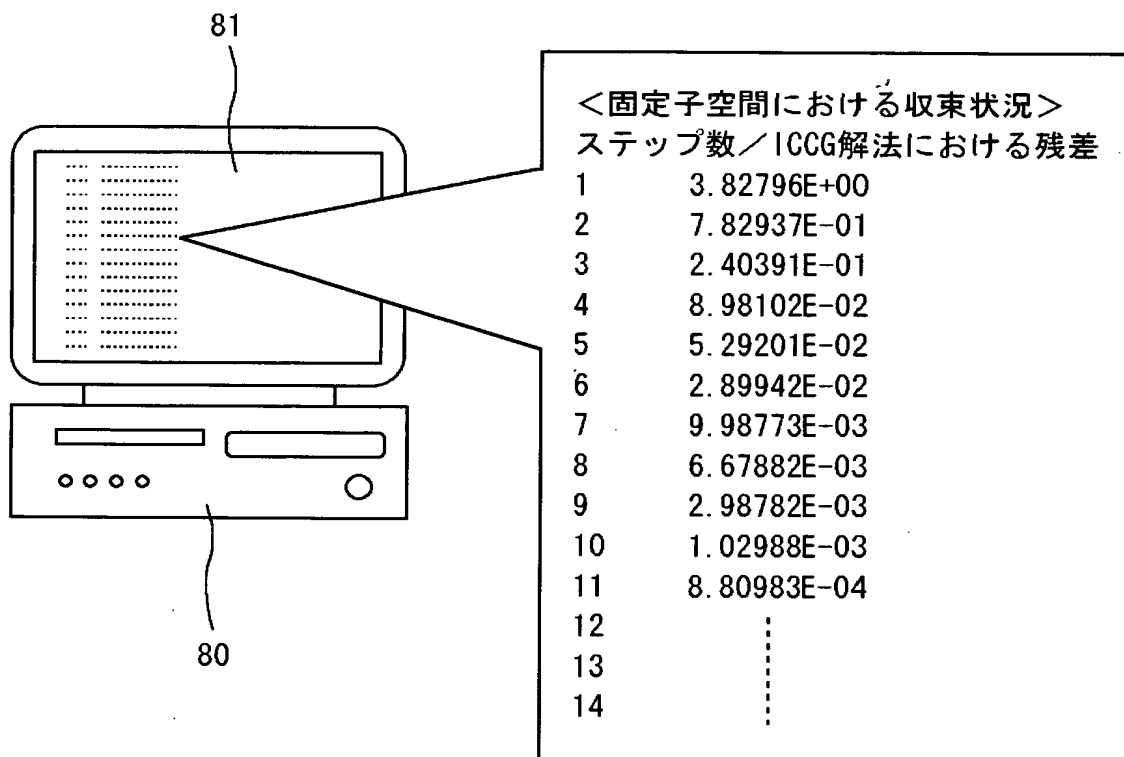
【図 7】

図 7



【図 8】

図 8



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

回転機の磁界分布を高速に解析することを課題とする。

【解決手段】

所定時刻で求めた磁界分布より、回転子と固定子の間のスライド面上での定数成分および回転基本モード成分を抽出し、解析空間を、回転子空間と固定子空間に分離し、時間ステップ幅に相当する回転磁界の回転角度分、スライド面上の基本モードを回転させ、それに定数成分を加えたものをスライド面における境界条件として、固定子空間で、磁気飽和を考慮した非線形磁界解析を実行し、時間ステップ幅に相当する回転磁界の回転角度分から、回転子の回転角度分を引いた角度分、スライド面上の回転基本モードを回転させ、それをスライド面における境界条件として、回転子空間において、磁気飽和を考慮した磁界解析を実行し、求めたポテンシャル解を初期値として、改めて全体空間で磁気飽和を考慮した磁界解析を実行する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 1 1 0 9 6 8
受付番号	5 0 3 0 0 6 2 4 9 6 7
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 4 月 1 7 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成15年 4月16日
-------	-------------

次頁無

特願 2003-110968

出願人履歴情報

識別番号

[000005108]

1. 変更年月日

1990年 8月31日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名

株式会社日立製作所